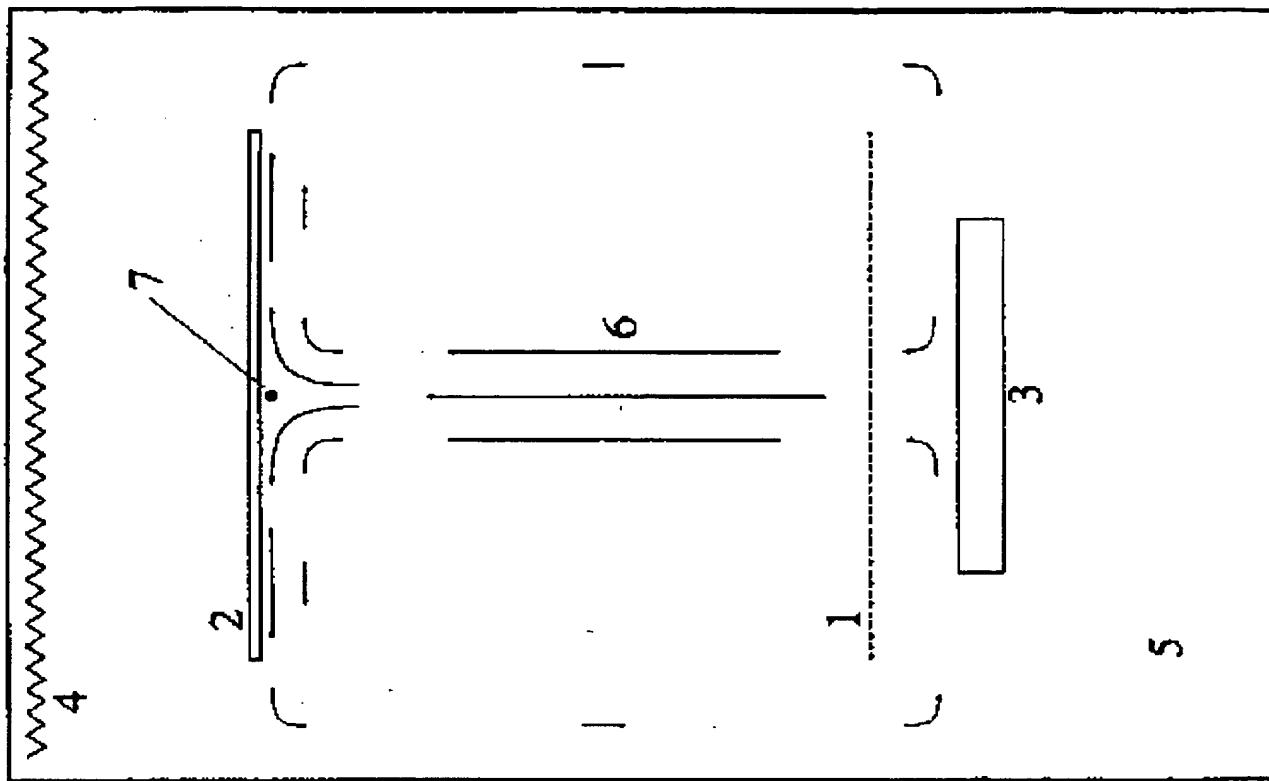


AN: PAT 2004-249196
TI: Controlled electrochemical deposition of metals and alloys involving the use of an acoustic flow
PN: DK9801656-A
PD: 24.07.2000
AB: NOVELTY - Process and apparatus for the controlled electrochemical deposition of metals and alloys involving the use of the phenomenon of acoustic flow. DETAILED DESCRIPTION - It is important to control the diffusion of metal ions to the cathode surface during the electrochemical deposition of metals. This will determine the material distribution, the composition of the alloy, the microstructure, and the physical and chemical properties of the metal deposited. The agitation techniques used before in electrochemical metal deposition were typically characterized by a poorly defined liquid movement, in which the liquid particles were moved and rotated at random in all three spatial directions. By contrast, acoustic flow, brought about by ultrasound, permits a high degree of control over the diffusion of the metal ions, because it involves a stationary and predominantly one-dimensional liquid movement without the formation of bubbles. The combination of acoustic flow and the pulsed plating technique makes it possible to achieve in the present process a previously unseen degree of control over the metal ion diffusion in the electrolyte used, which in turn permits the precise regulation of e.g. the composition of the alloy, the material distribution and the microstructure of the metal layer deposited.; For electrodeposition applications.
PA: (BJOR/) BJORNO L; (HALD/) HALD J; (JENS/) JENSEN J D;
(MOLL/) MOLLER P;
IN: BJORNO L; HALD J; JENSEN J D; MOLLER P;
FA: DK9801656-A 24.07.2000; **DK173515-B** 22.01.2001;
CO: DK;
IC: C25D-005/18; C25D-005/20;
MC: M11-B; X25-R04;
DC: M11; X25;
FN: 2004249196.gif
PR: DK0001656 18.12.1998;
FP: 24.07.2000
UP: 08.04.2004

This Page Blank (uspto)



This Page Blank (uspto)



(12) PATENTSKRIFT

Patent- og
Varemærkestyrelsen

(51) Int.Cl.: C 25 D 5/20 C 25 D 5/18

(21) Patentansøgning nr: PA 1998 01656

(22) Indleveringsdag: 1998-12-18

(24) Løbedag: 1998-12-18

(41) Alm. tilgængelig: 2000-06-19

(45) Patentets meddelelse bkg. den: 2001-01-22

(73) Patenthaver: Jens Dahl Jensen, Elmevang 31, 2830 Virum, Danmark
Per Møller, Rishave Park 20, Esrum, 3230 Græsted, Danmark
Leif Bjørnø, Stendiget 19, Sengeløse, 2630 Taastrup, Danmark
Jens Hald, Nøddelunden 38, 2765 Smørum, Danmark

(72) Opfinder: Jens Dahl Jensen, Elmevang 31, 2830 Virum, Danmark
Per Møller, Rishave Park 20, Esrum, 3230 Græsted, Danmark
Leif Bjørnø, Stendiget 19, Sengeløse, 2630 Taastrup, Danmark
Jens Hald, Nøddelunden 38, 2765 Smørum, Danmark

(54) Benævnelse: Fremgangsmåde og apparat til kontrolleret elektrokemisk deponering af metaller og legeringer under anvendelse af akustisk strømning

(56) Fremdragne publikationer:

GB A 2.064.398

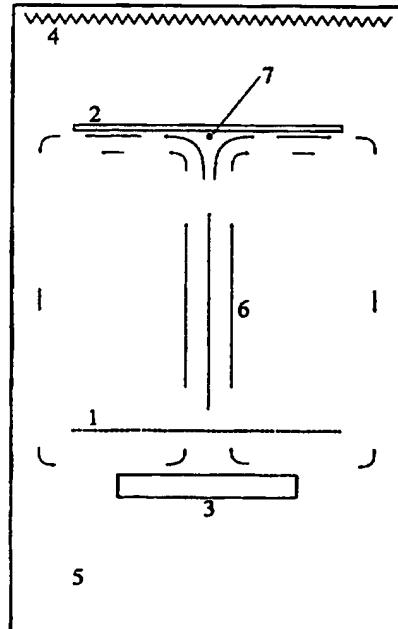
GB A 2.075.898

EP A 248.118

US A 2.470.775

(57) Sammendrag:

En metode og et system til kontrolleret elektrokemisk deponering af metaller og legeringer under anvendelse af fænomenet akustisk strømning beskrives i dette patent. At kunne kontrollere diffusionen af metalioner til katodeoverfladen under elektrokemisk metaldeponering er af afgivende betydning for materialefordeling, legeringssammensætning, mikrostruktur samt fysiske/kemiiske egenskaber af det deponerede metal. Tidligere anvendte agitationsteknologier indenfor elektrokemisk metaldeponering kendtes typisk ved en ikke veldefineret væskebevægelse (væskepartikler bevæges/roteres tilfældigt i alle de 3 rumlige retninger), hvorimod brugen af ultralyd frembragt akustisk strømning muliggør en høj grad af kontrol med diffusionen af metalioner, idet man her opnår stationær og overvejende 1-dimensional væskebevægelse uden dannelse af bobler. Ved brug af kombinationen af akustisk strømning og pulspletterings teknologi muliggør den her anviste metode en hidtil uset grad af kontrol af metaliondiffusionen i den anvendte elektrolyt, hvilket muliggør præcis kontrol af bl.a. legeringssammensætning, materialefordeling og mikrostruktur af det deponerede metal.



Figur 1

Nærværende patent omhandler en fremgangsmåde og et apparat, hvor elektrokemisk deponering af rene metaller eller legeringer udføres under anvendelse af såkaldt akustisk strømning i elektrolytten. Typen af elektrolyt vil normalt være vandig, men metoden kan ligeledes anvendes i organiske elektrolytter og saltsmelter. Fokus for patentet er deponering af metaller og legeringer på komponenter som anvendes indenfor det mikromekaniske- eller, mikroelektroniske fagområde, f.eks. miniaturiserede mekaniske komponenter, sensorer, printkontakter, mikrofoner, nanowires og legeringsmodulerede multilag (eng. Compositional Modulated Alloys, CMA's).

Ultralydomrøring er en velkendt teknologi indenfor galvanoindustrien, anvendt til både forbehandlingsprocesser og enkelte pletteringsprocesser. I forbehandlingsøjemed er ultralydomrøring i alkaliske dyppeaffedtere velkendt, hvor den kraftige agitation fra ultralydkilden effektiviserer renseprocessen som beskrevet i Sinders renseteori, hvor de fire faktorer omrøring, temperatur, tid og badkemi kontrollerer renseprocessen.

Ultralydkilder har ligeledes været anvendt som et middel til at forøge udfældningshastigheden i både kemiske og elektrolytiske metaludfældningsprocesser. Man udnytter i denne sammenhæng metalionernes forøgede mobilitet i elektrolytten under ultralydomrøring, hvorved grænsestrømtætheden for metaludfældningen forøges. Grænsestrømtætheden er defineret i et potential/strøm-diagram som det punkt hvor en stigning i påtrykt potential ikke længere påvirker den observerede strømtæthed.

Brugen af ultralyd i elektrokemiske pletteringsbade er kendt fra bl.a. U.S. Patent nr. 3,351,539 af Branson, som beskriver et system til statiske elektropletteringsprocesser. Problemet med de hidtil offentliggjorte metoder er, at de alle opererer med ultralyd af en type, som fremkalder kavitationseffekter i pletteringselektrolytten. Kavitation er til gavn for renseprocesser, men generelt er denne opståen og kollaps af luftbobler i elektrolytten tæt på substratoverfladen under elektrokemisk deponering af metal ikke ønskværdig. I ovennævnte patent af Branson undgås stående bølger i elektrolytten ved at pulsere styresignalet til ultralydkilden.

GB offentliggørelsesskrift nr. 2.064.398 beskriver bl.a. elektroplettering, hvor der anvendes en transducer monteret på en fleksibel holder kan rettes mod arbejdsstedet, og hvor frekvensen ligger mellem 50 kHz og 10 MHz. I GB offentliggørelsesskrift nr. 2.075.898 beskrives ringsformede lydbølgegeneratorer (ultralydtransducer), typisk monteret omkring elektroden. Effekten er i begge tilfælde en omrøring af væskeren (electrolytten) for at opnå en ensartet ionkoncentration nær arbejdsstedet, hvilket giver en mere ensartet udfældning på substratet.

I dynamiske systemer, f.eks. til kontinuert plettering i forbindelse med elektroforming, f.eks. EP 0 248 118 hvor lydbølge-agitation anvendes til at sørge

for tilførsel af nye metalioner til substratoverfladen, ved omrøring af elektrolytten i nærheden af den bevægede flade som skal pletteres, under den elektrolytiske udfældning, hvorved udfældningshastighed, duktilitet af det deponerede metal og kornfinhed (mindre kornstruktur) af det deponerede metal forøges. Ifølge skrifte kan transducerne, fortrinsvis ultralydgeneratorer, enten indbygges i en af elektroderne eller placeres i kontakt med en af elektroderne eller placeres i elektrolytten strømningsretning. Strømningen af elektrolytten skabes vha. en pumpe.

I U.S. patent nr. 5,653,860, uditaget af Mitsubishi Semiconductor America Inc., fjernes gasbobler fra katodeoverfladen under elektrolytisk metaludfældning v.h.a. en ultralydtransducer, som får selve katodeoverfladen til at vibrere.

I U.S. patent nr. 2.470.775 beskrives elektroplettering med periodisk pulsvending, hvorved der opnås et glat og plastisk lag med maksimal glansgivende effekt samt en hurtigere udfældning.

Det er altså kendt at anvende ultralyd i forbindelse med en kontrolleret elektrokemisk udfældning af metaller og legeringer på et substrat, ligesom det er kendt at anvende periodisk pulsvending for at få en bedre belægning.

Fremfor at fokusere på de ovennævnte omrørings-/agitationseffekter koncentrerer nærværende patent sig om anvendelsen af såkaldt akustisk strømning og dens effekter på reaktionsmekanismerne ved elektrokemisk udfældning af metaller og legeringer, f.eks. anvendt ved plettering/fremstilling af mikromekaniske/mikroelektroniske komponenter og multilagdelte legeringsbelægninger, såkaldte CMA-belægninger. CMA-betegnelsen stammer fra engelsk "Compositional Modulated Alloys" og defineres i denne sammenhæng som multilagdelte metalstrukturer, hvor sammensætningen kan varieres enten som en gradueret legeringsændring igennem materialet eller som gentagne enkeltdag med fastlagt kemisk sammensætning. Muligheden for at fremstille disse CMA-strukturer ved elektrokemisk udfældning afhænger af elektrolyt-kemi, og pletteringsparametre, hvilket har været beskrevet af Despic [A.R.Despic, V.D. Jovic, J. Electrochem. Soc. 134 (1987), 3004. A.R.Despic, V.D. Jovic, J. Electrochem. Soc. 136 (1989), 1651].

Traditionel anvendelse af ultralyd til fremkaldelse af bevægelse af væsker, herunder til blandingsprocesser i forbindelse med rensning og omrøring, er karakteriseret ved brug af høj akustisk intensitet, hvor kavitation udgør den grundlæggende proces for fremkaldelse af bevægelsen. Kavitation er en voldsomt virkende proces, hvis virkeområder og virkninger kun meget vanskeligt lader sig styre. Kavitation kan kort beskrives som dannelse, pulsering og sammenfald af bobler, et forløb der fører til en intensiv og hurtig blandingsproces i den ultralydbestrålede væske, i dette tilfælde en elektrolyt. I stedet for at anvende kavitation som grundlag for væskebevægelsen, som der gøres i de hidtidige patenter og patentansøgninger, vil akustisk strømning danne grundlag for væskebevægelsen i det foreliggende patent. Den akustiske strømning, der er karakteriseret ved at være kavitations- og boblefri, fremkaldes af udstrålingen af ultralyd fra een eller flere transducere.

5 Ultralydfrembragt akustisk strømning afviger afgørende fra sædvanlig anvendt ultralyd, som frembringer væskebevægelse baseret på kavitation i væskemediet (blandingsprocesser). Medens blandingsprocessernes væskebevægelser er karakteriserede ved at være 3-dimensionale, hvor væskepartiklerne bevæges i og roteres omkring akser i tre rumlige retninger, og hvor der normalt anvendes ultralyd frekvenser mellem 20 kHz og 50 kHz, og hvor den anvendte ultralyd intensitet er så høj, at kavitation danner grundlaget for væskebevægelsen, er den akustiske strømning karakteriseret ved, at der etableres en stationær og overvejende een-dimensional parallelstrømning i en retning vinkelret på ultralydtransduceren og strømmende bort fra transduceren.

10 Akustisk strømning i en væske frembringes ved lavere ultralydintensiteter end den veldefinerede grænseværdi intensitet i W/cm^2 , der fører til kavitation i væsken, [Grænseværdier for kavitation, se f.eks. R. Esche, Untersuchung der Schwingungskavitation in Flüssigkeiten, Acustica, 2, 1952, Beih., AB 208]. Derved udgås dannelse af bobler i væsken. Grænseværdien for ultralydintensitet, der fører til forekomsten af kavitation afhænger af den anvendte ultralydfrekvens, og den stiger med frekvensen. Grænseværdien for kavitation ved forskellige frekvenser afhænger på afgørende vis af arten af den anvendte væske (elektrolyt), og må i hvert enkelt tilfælde bestemmes gennem eksperimentelle målinger. Ved at anvende ultralydintensiteter under grænseværdien for kavitation og ved frekvenser fra ca. 60 kHz og til over 20 MHz er det muligt helt at undgå virkningerne af bobledannelse (kavitation) i den etablerede akustiske strømning.

15 Den mekanisme i ultralydfeltet, der fører til frembringelse af akustisk strømning, kan forklares ved, at der etableres en gradient i det af ultralydtransduceren frembragte strålingstryk i elektrolyten på grund af absorptionen af ultralydenergi i transducerens lydfelt. Trykgradientens retning er vinkelret på ultralydtransducerens overflade, og den akustiske strømning finder sted i trykgradientens retning.

20 Forekomsten af viskositet i en elektrolyt vil føre til forøget absorption, og dermed til forstærkning af trykgradienten, der driver den akustiske strømning.

25 Akustisk strømning kan effektivt frembringes i selv meget viskose væsker [W.L. Nyborg, Acoustical Steaming. In "Physical Acoustics", W.P. Mason (Ed.), Academic Press, 1965, Vol. II B, 265 - 331; L.K. Zarembo, Acoustical Streaming. In "High-Intensity Ultrasonic Fields". L.D. Rozenberg (Ed.), Plenum Press, 1971, 135 - 199; M. Wiene, Acoustical streaming produced by high-intensity ultrasound. M.Sc. thesis, Dept. Industrial Acoustics, Technical University of Denmark, 1996. (På dansk)]

30 Da strømningshastigheden i den akustiske strømning er styret af lydtrykket i ultralydbølgen foran transduceren, kan strømningshastigheden i elektrolyten let tilpasses enhver belægningsproces for metaller og legeringer ved at variere

35 Da strømningshastigheden i den akustiske strømning er styret af lydtrykket i ultralydbølgen foran transduceren, kan strømningshastigheden i elektrolyten let tilpasses enhver belægningsproces for metaller og legeringer ved at variere

40 Da strømningshastigheden i den akustiske strømning er styret af lydtrykket i ultralydbølgen foran transduceren, kan strømningshastigheden i elektrolyten let tilpasses enhver belægningsproces for metaller og legeringer ved at variere

45 Da strømningshastigheden i den akustiske strømning er styret af lydtrykket i ultralydbølgen foran transduceren, kan strømningshastigheden i elektrolyten let tilpasses enhver belægningsproces for metaller og legeringer ved at variere

trykamplituden i ultralydbølgen.

Den stationære og bobleforenungs fri strømning af en elektrolyt, der således kan etableres under kontrollerede forhold, vil tillade en transport af metalioner i en elektro-pletteringsproces, og vil tillade at kontrollere ionkoncentrationsgradienten i det strømningsfrembragte grænselag nær en fast overflade, og vil tillade at styre potentialet i overflade belægningsprocessen, herunder at styre produktionen af sammensætnings-modulerede legeringer (CMA). Kontrolen af de diffusionsbaserede processer vil blive udført ved at tilpasse den geometriske udformning af de anvendte ultralydtransducere til de flader, der skal metalbelægges, ved at optimere afstanden mellem transducer og belægningsflader, ved at regulere lydtrykket i ultralydbølgen, ved at udnytte såvel monokromatiske som bredbånds ultralydsignaler, hvor tidsforløbet for signalerne og disses spektrale sammensætning er tilpasset den særlige metalbelægningsproces, der ønskes udført.

De anvendte ultralydtransducere til frembringelse af akustisk strømning vil overvejende være baserede på piezoelektriske (typisk moderne PZT forbindelser eller BaTiO₃) skivematerialer, med eller uden backingmaterialer og med eller uden akustisk impedanstilpasningslag på skivernes sende sider. Lav-impedante backingmaterialer kan benyttes for at optimere den udstrålede ultralydenergi i retningen mod de flader, der skal metalbelægges. Formen på den/de piezoelektriske skive(r) kan være cirkulære, rektangulære, eller skiverne kan have en hvilken som helst form, der tillader dem at udgøre dele af en ultralydantenne. For at undgå kemiiske reaktioner ved de piezoelektriske materialer og/eller deres backing- og impedanstilpasningslag, samt for at undgå et frembringe en elektrisk kortslutning af de piezoelektriske skiver, vil en coating (belægning med et isolerende lag) af den piezoelektriske transducer finde sted.

For at undgå frembringelsen af stående ultralydbølger i den tank, hvori de elektrolytiske processer finder sted, kan tanken indvendig være beklædt med et reflektionsdæmpende materiale, såvel som at særligt tilpassede tidsforløb for ultralydsignalerne kan blive brugt.

To hovedgrupper af procesopstillinger til elektroplettering ved brug af akustisk strømning vil blive brugt. I den første hovedgruppe af elektropletteringssystemer, der udnytter akustisk strømning, vil transduceren være placeret bag ved anoden, der er udformet som en gitter struktur (transducer sendefladen vil typisk være parallel med den overflade, der skal metalbelægges). Elektrolytten kan strømmme igennem anoden til katoden (den overflade, der ønskes metalbelagt), hvor strømningen sker vinkelret på katodeoverfladen, der drejer strømningsretningen til en strømning parallel med katodeoverfladen. En returnstrømning til transduceren efter strømning langs katodeoverfladen vil naturligt forekomme på grundlag af den ved kontinuitetsligningen beskrevne massebevarelse. Den første hovedgruppe af procesopstillinger er vist på figur 1. Figur 1 viser et vinkelret indfaldende strømningssystem med en gitterformet anode for frembringelse af akustisk strømning i henhold til den foreliggende opfindelse. Systemet på figur 1 består af en

anode 1, en katode (belægningsemne) 2, en ultralydtransducer 3, en ultralydabsorberende/spredende belægning 4, og en elektrolyt 5. Figur 1 viser desuden strømlinier i den akustiske strømning 6 og forekomsten af et stagnationspunkt 7 på belægningsemnets overflade.

I den anden hovedgruppe af procesopstillinger til elektroplettering ved brug af akustisk strømning vil een eller flere ultralydtransducere være anbragt på en sådan måde at den frembragte parallelstrømning ikke sker vinkelret på katodeoverfladen, men danner en vinkel på 0° - 180° med denne flade, det foretrakne vinkelinterval er 20° - 160° . I denne opstilling kan elektrolytten strømmme uforstyrret af anoden til katodeoverfladen, se figur 2. Figur 2 viser en skræt indfaldende parallelstrømning i henhold til den foreliggende opfindelse. Systemet i figur 2 omfatter en anode 1, en katode (belægningsemne) 2, en ultralydtransducer 3, en ultralydabsorberende/spredende belægning 4, en elektrolyt 5, en ekstra ultralydtransducer 6. Figur 2 viser desuden strømlinier i den akustiske strømning 7, og et stagnationspunkt 8.

Den geometriske udformning af ultralydtransducerne tilpasses formen af de emner, der skal metalbelægges. I tilfælde af metalbelægning af et cylinderformet emne, vil ultralydtransduceren bestå af en kombination (en antenné) af flere piezoelektriske elementer og sammensat på en måde, der giver transduceren en cylindrisk form, hvor de elektrisk parallelkoblede piezoelektriske elementer frembringer en akustisk strømning vinkelret ind mod overfladen af emnet (katoden), der skal elektropletteres, se for eksempel figur 3.

Figur 3 viser et multi-element transducersystem, der frembringer en akustisk strømning i henhold til den foreliggende opfindelse. Elektropletteringssystemet i figur 3 omfatter en anode 1, en katode (belægningsemne) 2, en multi-element ultralydtransducer (antenne) 3, en ultralydabsorberende/spredende belægning 4, og en elektrolyt 5. Figur 3 viser desuden forløbet af strømlinier i den frembragte akustiske strømning 6.

I alle de af opfindelsen omfattede elektropletteringssystemer er eventuel forekomst af stående ultralydbølger undgået ved at anbringe et ultralydabsorberende og/eller ultralydspredende materiale på særligt udvalgte steder langs tankens underside. Stederne for placeringen af dette materiale er bestemt af antallet af ultralydtransducere, udformningen af transducere og emner til elektroplettering, osv.

At kunne kontrollere mobiliteten af ion-specier i pletteringselektrolytter er af afgørende betydning for den samlede kontrol af den elektrokemiske udfældningsproces. Ved at introducere specifikt designet strømning omkring katodeoverfladen under metaldeponering kan massetransport-fænomener i elektrolytten styres og herved muliggøre øget kontrol med pletteringshastighed, materialefordeling samt mikrostruktur og herved egenskaber af den deponerede metallegering.

Under elektrolytisk udfældning af metallegeringer observeres en af to

deponeringsmekanismer: Ligevægtsudfældning eller anomal legeringsudfældning. I det førstnævnte tilfælde reduceres mængden af den mere ædle ionspecie i elektrolytten til et niveau, hvor diffusionsbegrænsninger tillader mindre ædle ioner at fælde ud som frit metal på katodeoverfladen, hvorved legeringsudfældning muliggøres. Et typisk eksempel på denne mekanisme er udfældning af Cu-Ni legeringer. Den anden type reaktionsmekanisme, anomal legeringsudfældning, er kendtegnet ved, den mindst ædle af de i elektrolytten forekommende ionspecier mod forventning fælder ud præferentielt på katodeoverfladen. Årsagen til dette skal findes i dannelsen af et barrierelag (som oftest en metal-hydroxid film) på katodeoverfladen under legeringsudfældningen, hvilket begrænser transporten af mere ædle ion-specier til katodeoverfladen. Uanset hvilken af de to typer af legeringsudfældning som finder sted, har brugen af akustisk strømning under den elektrokemiske deponering en markant effekt på reaktioner og transportfænomener ved katodeoverfladen.

- 5 1. Fremgangsmåde til kontrolleret elektrokemisk deponering af metaller og legeringer på et substrat i en væskebaseret electrolyt under anvendelse af ultralyd, kendtegnet ved, at der frembringes akustisk strømning (retningsbestemt ultralydstrømning uden kavitation) ved at anvende ultralydfrekvenser mellem 60 kHz og 20 MHz, og særlig moduleret/pulserende udfældningsstrøm/potential.
- 10 2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, kendtegnet ved, at der anvendes legeringer af typen Fe + et eller flere metaller fra 8. Hovedgruppe, fortrinsvis Fe-Ni-legeringer.
- 15 3. Fremgangsmåde ifølge krav 1, kendtegnet ved, at der anvendes Cu-In-Se-legeringer.
- 20 4. Fremgangsmåde ifølge krav 1, kendtegnet ved, at der anvendes legeringer af typen zink + et eller flere af metallerne jern, kobolt, nikkel, tin eller mangan.
- 25 5. Fremgangsmåde ifølge krav 1, kendtegnet ved, at der anvendes Fe-Cr-Ni-legeringer.
- 30 6. Fremgangsmåde ifølge krav 1, kendtegnet ved, at der anvendes legeringer af typen Ni + et eller flere af metallerne krom, kobolt, kobber, tin eller palladium.
- 35 7. Fremgangsmåde ifølge krav 1, kendtegnet ved, at der anvendes Arsen-legeringer.
- 8. Fremgangsmåde ifølge krav 1, kendtegnet ved, at der anvendes ethvert enkeltmetal i det periodiske system (som lader sig udfælde elektrokemisk fra en væskebaseret elektrolyt).
- 9. Fremgangsmåde ifølge krav 1-8, kendtegnet ved, at substratet er en mikrokomponent med en kompleks tredimensional geometri.
- 10. Fremgangsmåde ifølge krav 1-8, kendtegnet ved, at der fremstilles nanowires.
- 11. Fremgangsmåde ifølge krav 1-8, kendtegnet ved, at substratet er en printplade med huller (gennemplettering).
- 12. Fremgangsmåde ifølge krav 1-8, kendtegnet ved, at der fremstilles

5 multilagdelte metalbelægninger.

10 13. Fremgangsmåde ifølge krav 1-12, kendtegnet ved, at styresignalerne til ultralydtransducere er frekvens- og eller amplitudemodulerede.

14. Fremgangsmåde ifølge krav 1-13, kendtegnet ved, at der anvendes en akustisk lydfælde for at undgå stående bølger i elektrolytten.

15 15. Fremgangsmåde ifølge krav 1-14, kendtegnet ved, at den akustiske lydfælde er fremstilet af et akustisk dæmpende eller spredende materiale.

16. Fremgangsmåde ifølge krav 1-15, kendtegnet ved, at indfaldsvinklen mellem den akustisk strømnings retning og substratets overflade ligger i intervallet 0° - 180° , med et foretrukket interval på 30° - 150° .

17. Fremgangsmåde ifølge krav 1-16, kendtegnet ved, at den akustiske strømningshastighed reguleres af lydtrykket fra ultralydkilden.

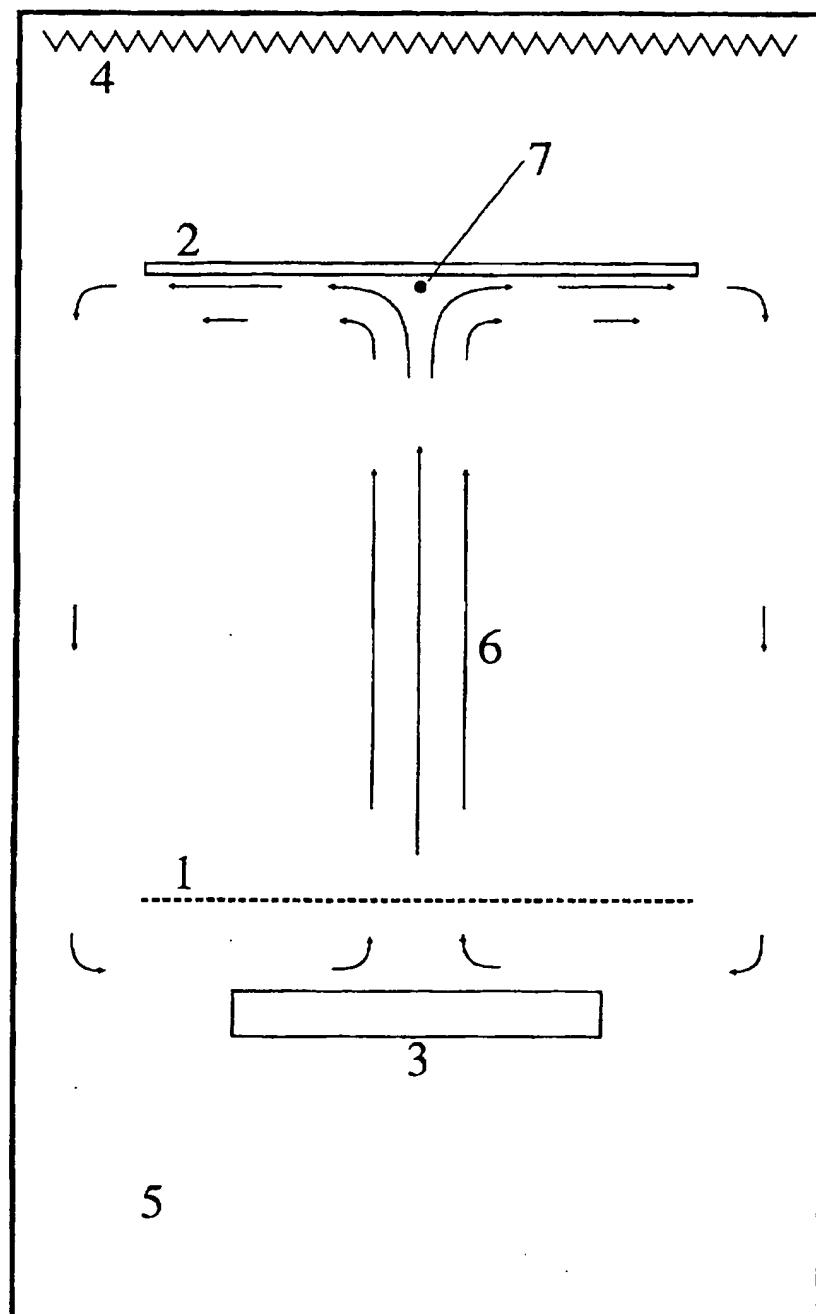
18. Fremgangsmåde ifølge krav 1-17, kendtegnet ved, at ultralydkilden udformes efter formen af substratet.

20 19. Apparat til elektrokemisk deponering af metaller/legeringer, kendtegnet ved, at det indeholder en eller flere ultralydtransducere, placeret som anført i krav 16 (frembringende retningsbestemt akustisk strømning), en lydfælde til modvirkning af stående bølgefænomener, en pulsensretter samt computerkontrol af den elektrolytiske udfældningsstrøm/potential og ultralydtransducerne.

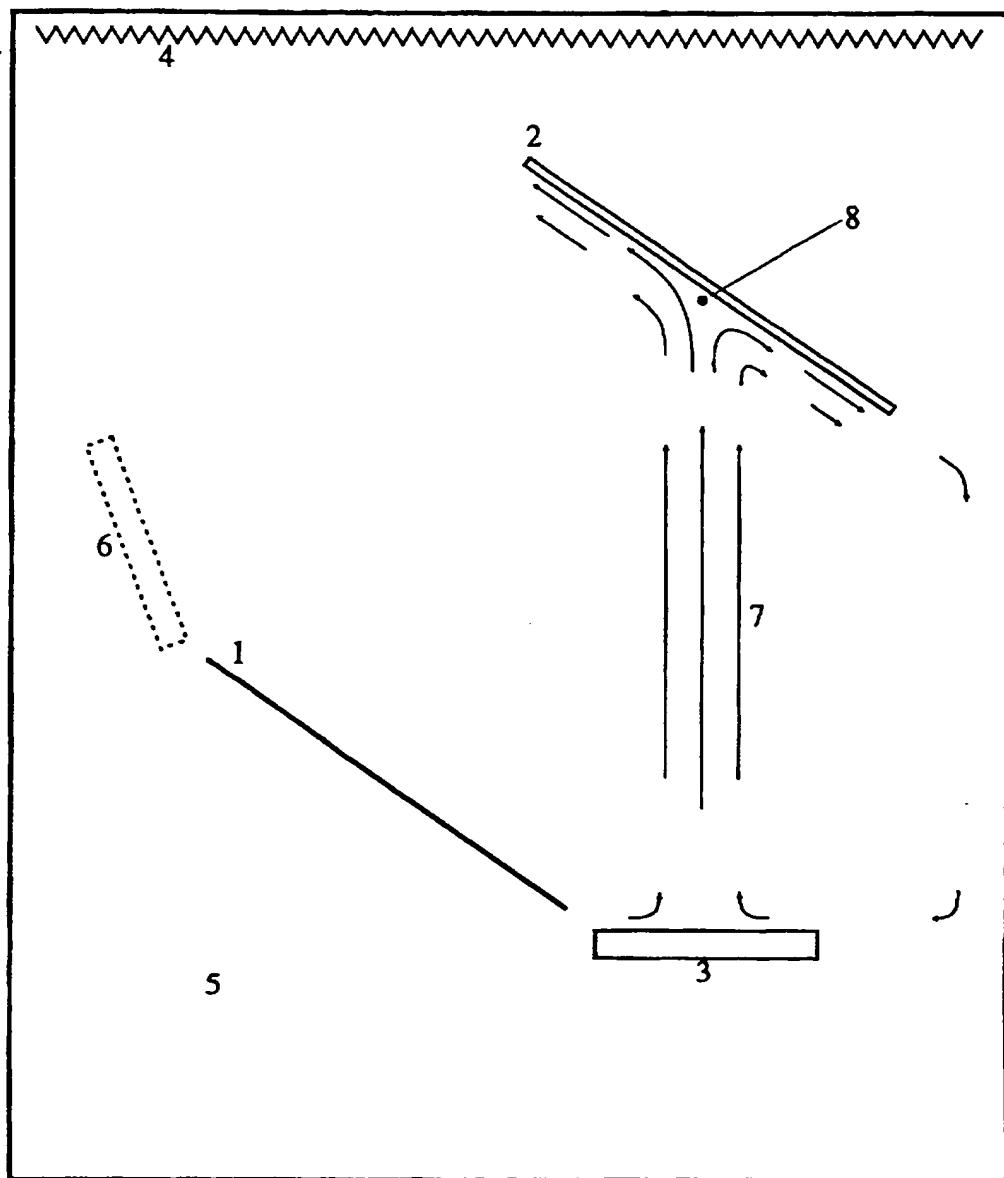
25

30

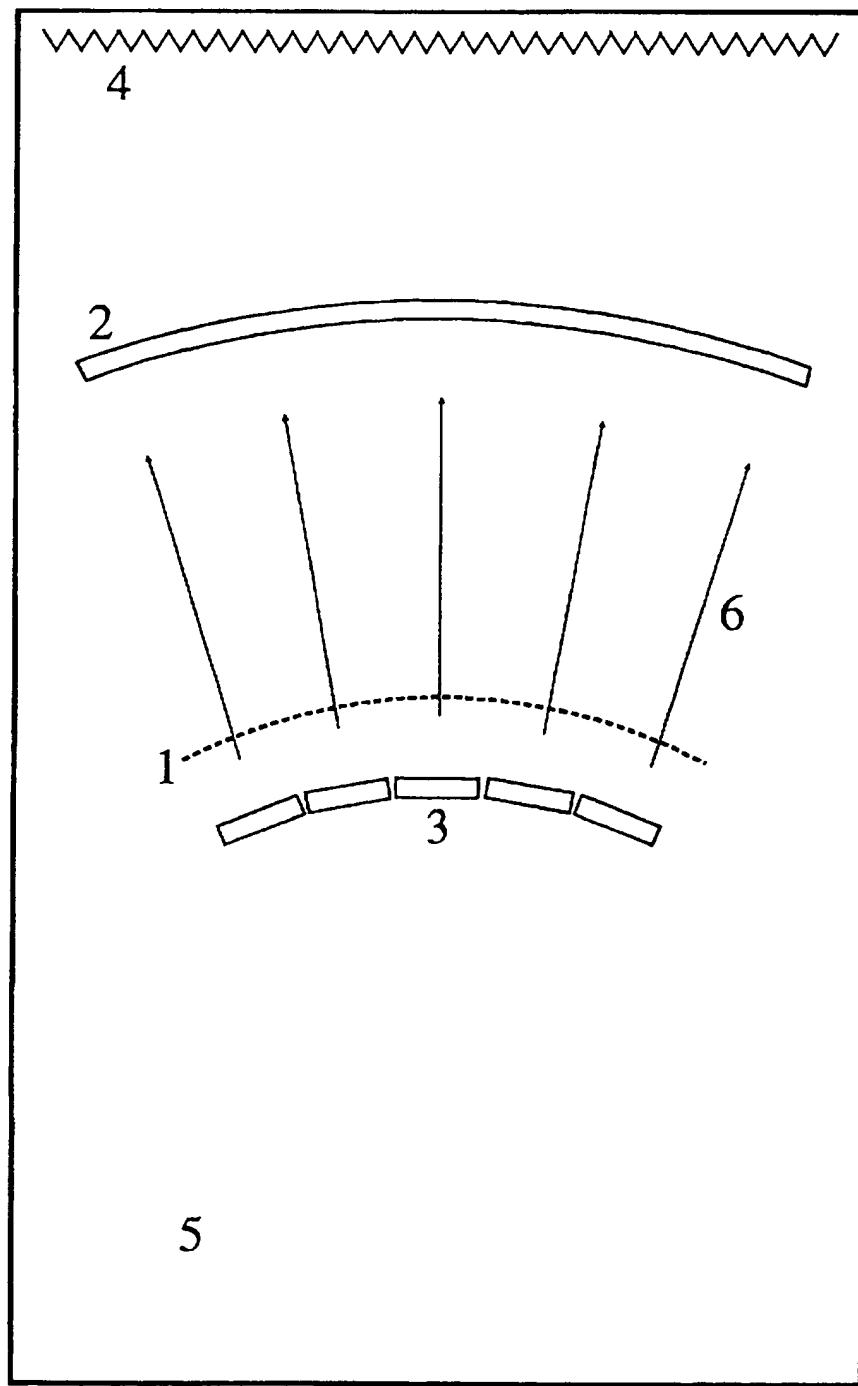
35



Figur 1



Figur 2



Figur 3

This Page Blank (uspto)